Über die gemeinsame Wirkung zweier elektrischer Ströme.

Von **K. W. Knochenhauer.**

(Mit 1 Tafel.)

(Vorgelegt in der Sitzung vom 4. October 1855.)

Bei der Fortsetzung meiner Untersuchungen über den Strom der Nebenbatterie stiess ich auf einige so eigenthümliche Thatsachen für die gemeinsame Wirkung zweier elektrischer Ströme, welche durch denselben Drath hindurchgehen, dass es mir nothwendig erschien, dies ganze Gebiet experimentell zu erforschen. Indem ich die Beobachtungen in dem Folgenden mittheile, bemerke ich zuvor, dass ich nicht überall vollständige Angaben zu erlangen gesucht habe, welche eine genaue Berechnung gestatten; ich wollte nur zunächst die Thatsachen selbst übersichtlich kennen lernen und überliess daher die strengere Durchführung dieser weitläufigen Versuche einer späteren Zeit, wo wir für den Aufbau einer Theorie ein sichereres Fundament als bisher gewonnen haben werden.

Der Apparat. Die nicht isolirte Batterie (Hauptbatterie), welche unmittelbar vom Conductor geladen wurde, bestand aus den beiden Flaschen F_3 und F_4; ihre Ladung liess ich constant auf $J = 52 \cdot 0$ gelangen, indem ich den Kugeln des Ausladers eine feste Distanz von 2·43 Par. Linien gab. Als Nebenbatterie dienten die beiden Flaschenpaare $(A) + (B)$, welche jenen an Kraft ziemlich gleich sind; diese Batterie war gut isolirt. Zu den Schliessungsdräthen wurde durchweg derselbe Kupferdrath *K* von etwas über ½ Linie Durchmesser benutzt; eingefügt wurde nur das Luftthermometer oder statt dessen ein gleich langer und gleich starker Platindrath *P.* der auch genau ebenso wie im Thermometer ausgespannt war. Zum Inducieren der Ströme dienten: 1. Zwei 24′ lange Dräthe, die isolirt an senkrecht stehenden quadratischen Rahmen in etwa 1 Zoll Distanz parallel zu einander ausgespannt sind; der Kürze wegen werde ich diese Dräthe mit (24′) bezeichnen. 2. Ein auf Glasfüssen ruhendes Spiralenpaar von 18½ Zoll Länge der Röhren; der 36′ lange Drath der äusseren Spirale (Sp. I) ist in 80 Windungen um eine 21 Linien weite Glasröhre gewickelt; die zweite darin eingeschobene und befestigte

(Sp. II) ist 25½′ lang und auf einer 13 Linien weiten Glasröhre in 78 Windungen; die Enden beider Spiralen tauchen getrennt von einander in kleine mit Quecksilber gefüllte Glasnäpfe. In Sp. II kann noch eine dritte Spirale (Sp. III) von 20′ Länge in 88 Windungen eingeschoben werden; für gewöhnlich ist sie indess herausgenommen. Alle drei Spiralen sind gut überfirnisst. 3. Ein ähnliches Spiralenpaar von gleicher Länge der Röhren; die äussere Spirale (Sp. (1)) bedeckt bei 31′ Länge in 80 Windungen eine 18 Linien weite Glasröhre; die innere (Sp. (2)) enthält in 85 Windungen 25½′ Länge und ihre Glasröhre ist 12 Linien weit. Diese beiden Spiralen können aus-einander genommen und somit auch einzeln in die Schliessungsdräthe eingefügt werden.

I. Hauptstrom und seine Nebenströme.

a) Hauptstrom und Nebenstrom 1. Ordnung.

Der Hauptdrath war 15′ lang und enthielt ausserdem das Thermometer und Sp. I; die Sp. II war durch einen Platindrath P. und 1½′ *K* ($P + 1½′$) geschlossen. Der durch Sp. I gehende Strom erregte also in Sp. II einen Nebenstrom, der in der Spirale ihm entgegengesetzt, demnach durch *P* mit ihm gleichgerichtet verlief. Die Beobachtung der Wärme im Hauptdrath (*H*) und im Nebendrath (*N*) gab:

H 11·7 N 9·5, somit das Verhältniss beider Stromstärken oder $\sqrt{\frac{N}{H}} = 0·91$.

Hierauf wurde der Hauptdrath durch Sp. II geleitet, während Sp. I. offen blieb; der Strom theilte sich jetzt in zwei Theile durch die beiden Zweige Sp. II und P + 1½′. Die Beobachtung lieferte:

H 14·0 *Zw.* 12·5, somit das Verhältniss des durch $P + 1½′$ fliessenden Stromtheils zum ganzen Strom oder $\sqrt{\frac{Zw.}{H}} = 0·94$.

Endlich wurde der Hauptstrom erst durch Sp. I und dann mittelst 2′ *K* einmal gleichlaufend mit dem Nebenstrom durch die Zweige, welche Sp. II und $P + 1½′$ bilden, geleitet, zweitens in conträrer Richtung dazu. Der Strom ging also das erste Mal

zunächst durch Sp. I, dann über 2′ in den Napf der Sp. II, welcher auf derselben Seite liegt, wo der Strom in Sp. I eingetreten war, und kehrte durch den andern Napf zur Aussenseite der Batterie zurück. Das zweite Mal trat er aus dem hinteren Napf von Sp. I wieder in den hinteren Napf von Sp. II und gelangte durch den vorderen Napf weiter. In beiden Fällen ging durch $P + 1\frac{1}{2}'$ sowohl der Nebenstrom als auch der Zweigstrom des Hauptstroms, nur flossen sie durch diesen Drath einmal in gleichlaufender, dann in conträrer Richtung. Bezeichnen wir die durch die gemeinsame Wirkung entwickelte Wärme mit N, so lieferte die Beobachtung:

gleichl.	contr.
$H\,6{\cdot}1 \quad N\,20{\cdot}5 \sqrt{\frac{N}{H}} = 1{\cdot}83$	$H\,15{\cdot}2 \quad N\,0$.

Diese Beobachtung lehrt, wie ich dies auch schon früher nachgewiesen habe, dass der aus Haupt- und Nebenstrom resultirende Strom bei gleicher Richtung die Summe, bei conträrer Richtung die Differenz beider Ströme ist. Die Wärme wächst, wie überall, im Quadrat der Stromstärke. Dass bei conträrer Richtung die beiden Ströme 0·91 und 0·94 sich gänzlich aufzuheben scheinen, liegt darin, dass ein Strom von 0·03 nur eine Wärme = 0·0009 von der Wärme im Hauptstrom gibt, die natürlich mit dem Thermometer nicht mehr wahrgenommen werden kann. Ich werde solche Ströme, die, wenn sie in gleicher Zeit denselben Drath durchfliessen, je nach ihrer Richtung einfach addirt oder subtrahirt werden, gleichartige Ströme nennen. Hauptstrom und Nebenstrom sind also gleichartig.

b) Hauptstrom und Nebenstrom, beide 1. Ordnung.

Sp. (2) ward in Sp. (1) eingeschoben und die beiden Spiralenpaare standen neben einander; Sp. II wurde durch $1\frac{1}{2}'$ und Sp. (2) durch 3′ K mit demselben P geschlossen; der Hauptdrath war wie vorher. Der Strom wurde zuerst durch Sp. I allein hindurchgeleitet; der hierdurch erregte Nebenstrom ging also durch P und nur ein kleiner Theil von ihm über die damit verbundene Sp. (2). Es war

$H\,12{\cdot}0 \quad N\,8{\cdot}5$ also das Verhältniss des durch P gehenden Stromtheils dieses Nebenstroms zum Hauptstrome oder $\sqrt{\frac{N}{H}} = 0{\cdot}84$.

Als hierauf der Strom nur durch Sp. (1) ging, ward der wieder durch P gehende Stromtheil des zweiten Nebenstroms in seinem Verhältniss zum Hauptstrom durch

$$H 13\cdot5 \quad N 7\cdot5 \text{ somit durch } \sqrt{\frac{N}{H}} = 0\cdot72$$

bestimmt. Endlich wurde der Hauptstrom durch beide Spiralen Sp. I und Sp. (1) hinter einander und zwar so geleitet, dass die Nebenströme durch den gemeinsamen Platindrath einmal in gleicher, dann in conträrer Richtung hindurchgingen. Aus der Beobachtung:

gleichl.	contr.
$H 7\cdot0 \quad N 16\cdot0 \sqrt{\frac{N}{H}} = 1\cdot51$	$H 12\cdot2 \quad N 0\cdot3 (\text{etwa}) \sqrt{\frac{N}{H}} = 0\cdot15$

folgt, dass zwei Nebenströme erster Ordnung gleichartig sind (vergl. Beiträge S. 90).

c) Hauptstrom und Nebenstrom zweiter Ordnung.

Die beiden Spiralenpaare standen in genügender Entfernung parallel zu einander; Sp. (2) war durch $2\frac{1}{2}'$ K. mit Sp. I verbunden, und Sp. II durch $1\frac{1}{2}'$ mit P geschlossen. Der Hauptstrom ging durch Sp. (1), erregte in Sp. (2) einen Nebenstrom erster Ordnung, der in der Spirale zum Hauptstrom in entgegengesetzter, also durch Sp. I in gleicher Richtung verlief; von diesem Nebenstrom entstand durch $P + 1\frac{1}{2}'$ ein Nebenstrom zweiter Ordnung, dessen Richtung mit der Richtung des Hauptstroms durch Sp. (1) überein kam. Die Stärke dieses Stromes folgte aus

$$H 16\cdot7 \quad N 2\cdot0 \text{ also } \sqrt{\frac{N}{H}} = 0\cdot36.$$

Nun wurde der Hauptstrom noch durch Sp. II geleitet, so dass ein Theilstrom nach $a) = 0\cdot94$ durch $P + 1\frac{1}{2}'$ erst in gleicher, dann in conträrer Richtung mit dem Nebenstrom zweiter Ordnung floss. Ich erhielt:

gleichl.	contr.
$H 11\cdot5 \quad N 17\cdot0 \sqrt{\frac{H}{N}} = 1\cdot23$	$H 16\cdot0 \quad N 5\cdot3 \sqrt{\frac{N}{H}} = 0\cdot58.$

Der Hauptstrom ist also mit dem Nebenstrom zweiter Ordnung ebenfalls gleichartig.

d) Nebenstrom erster und Nebenstrom zweiter Ordnung.

Während bei unveränderter Anordnung des Apparates wie in *c)* der Hauptstrom nur durch Sp. (1) floss, wurde der die Sp. (2) mit Sp. I verbindende Drath um $2^1/_2{}'$ verlängert, so dass man den Nebenstrom erster Ordnung durch die Verzweigung, welche Sp. II und $P + 1^1/_2{}'$ bildeten, erst in gleicher, dann in conträrer Richtung mit dem Nebenstrom zweiter Ordnung hindurchleiten konnte. Die Stärke des Nebenstroms erster Ordnung kann man aus *c)* und *a)* zu $\frac{0\cdot36}{0\cdot91} = 0\cdot39$ berechnen und wegen der Verlängerung des verbindenden Draths auf 0·36 herabsetzen, so dass sich der durch $P + 1^1/_2{}'$ gehende Stromtheil auf $0\cdot36 \times 0\cdot94 = 0\cdot34$ stellt. Der Nebenstrom zweiter Ordnung wird durch die Verringerung des ihn erregenden Stroms etwa auf 0·33 zurückgehen. Die Beobachtung der gemeinsamen Wirkung beider Ströme gab:

gleichl.	contr.
$H\,16\cdot0 \quad N\,6\cdot5 \quad \sqrt{\frac{N}{H}} = 0\cdot64$	$H\,17\cdot0 \quad N\,0$.

Der Nebenstrom erster und zweiter Ordnung sind ebenfalls gleichartig. Das Resultat aus sämmtlichen Beobachtungen ist demnach:

Der Hauptstrom ist mit allen seinen Nebenströmen gleichartig.

II. Nebenbatteriestrom und sein Nebenstrom.

a) Gewöhnlicher Nebenbatteriestrom und sein Nebenstrom.

Die Hauptbatterie wurde durch 15′ (24′), wie oben bemerkt die am Rahmen gespannten 24′ *K.*, und durch Sp. (1) geschlossen. Der Schliessungsdrath der Nebenbatterie (Nebendrath) bestand aus 7′, *P*, (24′) und Sp. I, und Sp. II wurde durch $P + 1^1/_2{}'$ geschlossen. Ich beobachtete zuerst die Wärme des Nebenbatteriestroms *NB* und zugleich die Wärme *N* des in $P + 1^1/_2{}'$ erregten Nebenstroms; dies gab:

$$NB\,5\cdot5 \quad N\,4\cdot6 \quad \text{also} \quad \sqrt{\frac{N}{NB}} = 0\cdot91$$

Vergleicht man hiermit I *a)*, so ergibt sich, dass der Nebenbatteriestrom einen Nebenstrom von gleicher Stärke wie der Hauptstrom erzeugt. Hiernach liess ich Sp. (1) und Sp. I aus Hauptdrath und Nebendrath fort und schloss den Nebendrath durch Sp. II, um die Stromtheilung kennen zu lernen; ich fand

NB 11·2 $Zw.$ 10·0 folglich $\sqrt{\frac{Zw}{N}} = 0·94$,

also auch hier dieselbe Stromtheilung wie unter 1 a). Wieder kamen Sp. (1) und Sp. I in die Schliessungsdräthe, und der Nebenbatteriestrom wurde mittelst 2′ K noch durch Sp. II geleitet, so dass er sich über $P + 1\frac{1}{2}'$ erst in gleicher, dann in conträrer Richtung mit seinem Nebenstrom verzweigte. Dies gab:

gleichl.	contr.
NB 3·7 N 11·5 $\sqrt{\frac{N}{NB}} = 1·76$	NB 6·5 N 0.

Der Nebenbatteriestrom und sein Nebenstrom sind gleichartig. Die kleine Differenz zwischen der beobachteten Zahl 1·76 und der zu erwartenden 1·85 erklärt sich genügend aus der für derartige Berechnungen zu geringen Erwärmung 3·7 in NB, wenn sonst nicht kleine Störungen hinzutraten, die hier kaum zu vermeiden sind.

b) Überschlagstrom und sein Nebenstrom.

Verbindet man die beiden Kugeln eines Funkenmessers mit der inneren und äusseren Belegung der Nebenbatterie, so entladet sich bekanntlich diese Batterie über die Kugeln, nachdem man sie einander hinreichend genähert hat. Den Strom, der über die Kugeln geht, will ich Überschlagstrom nennen. Die Distanz der Kugeln braucht man nur wenig oder gar nicht zu verringern, wenn man zwischen die eine Kugel und die eine Belegung einen längeren Drath einschaltet; man kann also die Stärke des Überschlagstroms bequem messen. Da sich das Arrangement dieses Draths nicht gut so treffen liess, um den vollen Überschlagstrom und die gemeinsame Wirkung seines Theilstroms mit dem Nebenstrom zu beobachten, auch eine solche Messung selbst nicht einmal die volle Schärfe der Berechnung gestattet hätte, weil, wie wir weiter unten sehen werden, der Überschlagstrom unter constanten Verhältnissen nicht immer völlig constant bleibt, so gab ich dem Drathe, welcher den Überschlagstrom leitete, zwei annähernd gleich lange Zweige; der eine Zw. I bestand aus Sp. I, wo Sp. II durch $P + 1\frac{1}{2}'$ geschlossen war, und ausserdem der durch Sp. I gehende Strom noch mittelst 2′ K durch die Verzweigung zwischen Sp. II und $P + 1\frac{1}{2}'$ erst gleichlaufend, dann conträr mit dem Nebenstrom geleitet wurde, den andern Zweig Zw. II bildeten Sp. (1) und 6′ K. Ich machte jetzt den Hauptdrath = 15′ + (24′)

und den Nebendrath = 13′ + (24′), so dass die Nebenbatterie etwa das Maximum ihrer Ladung erhielt, und beobachtete bei einem Überschlag (32)[1]) erst den Überschlagstrom in Zw. II allein, dann die gemeinsame Wirkung von Nebenstrom und Überschlagstrom in Zw. I; dies gab 2·7 und dann bei gleichl. 10·0, bei contr. 0. Da sich, wenn der Überschlagstrom mit seinem Nebenstrom gleichartig sein soll, die Wärme in Zw. II zur Wärme beider Ströme in Zw. I bei gleichlaufender Verbindungsweise etwa wie 1 : 3·5 verhalten muss, so genügt die Beobachtung, um die Gleichartigkeit beider Ströme fest zu stellen, die überdies durch die Beobachtung bei conträrer Richtung bestätigt wird. Als Gesammtresultat folgt:

Der Nebenbatteriestrom ist mit seinem Nebenstrom gleichartig.

III. Hauptstrom oder sein Nebenstrom und Nebenbatteriestrom oder sein Nebenstrom.

a) Hauptstrom und Nebenbatteriestrom.

Ich liess hierauf den Hauptstrom oder seinen Nebenstrom und den Nebenbatteriestrom oder seinen Nebenstrom durch denselben Drath hindurchgehen, und zwar wieder abwechselnd in gleicher und in conträrer Richtung. Um das Arrangement der Schliessungsdräthe für den Fall deutlich zu machen, wo es Haupt- und Nebenbatteriestrom sind, die mit einander wirken, habe ich in Fig. 1 mit *DKLE* und *FMQG* die beiden 24′ langen Dräthe dargestellt, welche an den senkrechten quadratischen Rahmen in etwa 1 Zoll Distanz einander gegenüber stehen. Die Endpunkte der Dräthe sind *D*, *E* und *F*, *G*. Die Hauptbatterie ($F_3 + F_4$) steht in *H*; von ihrer inneren Belegung führt der Hauptdrath zuerst nach den Kugeln *J* des Ausladers, die eine constante Schlagweite von 52·0 geben, von da nach *A* einem isolirten Quecksilbergefäss; von hier geht ein Drath *AB* nach dem Thermometerdrath *P* in *BC* und kehrt über *CD* nach *D* zurück, so dass der Hauptstrom nun weiter über *DKLE* zur Aussenseite der Hauptbatterie verläuft. Werden die Dräthe *BA* und *CD* umgelegt, so geht der Hauptstrom bei sonst unveränderter Richtung von *A* über *C* nach

[1]) Um die Distanz der Kugeln am Funkenmesser zu bezeichnen, gebe ich neben dem Überschlag in Parenthese die Intensität der Nebenbatterieladung an; will man die Distanz der Kugeln in Linien haben, so zieht man von der Zahl $3^1/_4$ ab und dividirt den Rest mit 20. Übrigens bemerke ich, dass ich beim Überschlag jedesmal die Distanz der Kugeln so wählte, dass der Funken noch mit voller Sicherheit übersprang.

B und *D*, er läuft also durch das Thermometer einmal von *B* nach *C*, dann von *C* nach *B*. Die Nebenbatterie $(A)+(B)$ ist durch ihren Schliessungsdrath (Nebendrath) über *NBCFMQGN* verbunden und zwar so, dass von der inneren Belegung der Drath *NBC*... hervorgeht. Streng genommen erfolgt hier die Ladung der Nebenbatterie durch 2 Impulse, erstens durch die Induction, welche von den gespannten Dräthen ausgeht, zweitens durch den gemeinsamen Drath (Mitteldrath) *BC*; man erkennt die beiden Wirkungen leicht darin, dass die Schlagweite der Nebenbatterie und ebenso ihr Strom etwas verringert wird, wenn der Hauptstrom von *C* nach *B* läuft; indess die Hauptwirkung geht von den gespannten Dräthen aus. — Da ich über die Richtung des Nebenbatteriestroms zunächst nichts aussagen will, so führe ich nur, um eine Bezeichnung zu haben, die beiden Ströme als gleichlaufend an, wenn der Hauptstrom von *B* nach *C*, und umgekehrt als conträre an, wenn der Hauptstrom von *C* nach *B* geht; der Nebenbatteriestrom wird demnach in den inducirenden Dräthen als gleichlaufend mit dem Hauptstrom angenommen; doch soll dies, wie gesagt, vorläufig nur eine Bezeichnung des getroffenen Arrangements in der Verbindungsweise der Schliessungsdräthe sein. — Es bestand nun der Hauptdrath aus 15′, (24′), *P* und 4′ (in den Dräthen *BA* und *CD* zum Wechseln der Stromrichtung), seine Totallänge betrug also 45′, worin *P* zu 2′ eingerechnet ist; der Nebendrath bestand aus 9′, (24′) und $P=35'$ und wurde nach und nach verlängert. Die Beobachtung des Thermometers in *BC* gab:

Zusatz im Nbdr.	0′	4′	8′	10′	12′	16′	20′	24′
gleichl.	18·0	16·0	13·7	12·5	11·7	11·0	11·0	11·0
contr.	10·5	11·0	12·7	13·7	15·0	17·2	18·5	19·7.

Diese Reihen bieten, wie man leicht sehen wird, ein ganz eigenthümliches Resultat dar. Achten wir zunächst nur auf die Thatsachen und lassen jede Erklärung bei Seite, so nimmt die Wärme, wenn der Hauptstrom und der Nebenbatteriestrom in derselben Richtung durch das Thermometer verlaufen, mit der Verlängerung des Nebendraths ab, und umgekehrt steigert sich die Wärme, wenn beide Ströme eine conträre Richtung haben; an einer Stelle hier bei etwa 9′ Zusatz im Nebendrath ist die Wärme in beiden Reihen gleich gross. Diese Stelle zunächst ist ganz fest bestimmt; sie liegt jedesmal da, wo die Nebenbatterie das Maximum ihrer Ladung erlangt, also wenn bei gleichen Batterien, wie dies unser Fall ist, der Haupt- und

der Nebendrath gleich lang sind. Von dieser Stelle ab steigt die Wärme bei gleichlaufender Richtung beider Ströme mit der Verkürzung und fällt mit der Verlängerung des Nebendraths; das Umgekehrte findet bei conträrer Richtung der Ströme Statt. Dies Steigen und Fallen der Wärme ist jedoch nicht unbegrenzt; man findet bald früher bald später ein Maximum und ein Minimum, von wo eine langsame Umkehr eintritt. Ich habe die Stellen, wo die Wendung eintritt, noch nicht näher bestimmen können, nur so viel lehren die noch mitzutheilenden Beobachtungen, dass die Wendepunkte des Minimums und des Maximums nicht immer gleich weit von der Stelle abliegen, wo gleiche Wärme bei conträrer und gleichlaufender Richtung ist, bisweilen liegt der Wendepunkt des Minimums, bisweilen der des Maximums ihr sehr nahe, während der andere kaum zu erlangen ist. — Wenn auch nicht die späteren Beobachtungen über die Zweigströme im Nebendrath die Erklärung völlig ausschlössen, dass der Nebenbatteriestrom erst in die Batterie hineingehe und dann wieder zurückkehre, so würde man doch für das Zusammenwirken dieses so angenommenen Ladungs- und Entladungsstroms der Nebenbatterie mit dem Hauptstrom nicht die oben gefundenen Gesetze für gleichartige Ströme gelten lassen können, weil man einmal, wenn der Nebendrath kürzer ist als wieviel seine zum Maximum der Ladung erforderliche Länge beträgt, den Ladungsstrom schwächer annehmen müsste, als den Entladungsstrom, und dann umgekehrt jenen wieder stärker und diesen schwächer, wenn der Nebendrath länger wird. Für eine solche Annahme würde sich sicher kein hinreichender Grund auffinden lassen; dazu würde kommen, dass man die beobachteten Zahlen selbst bei dieser willkürlichen Hypothese nicht aus dem Haupt- und Nebenbatteriestrom zusammensetzen könnte, wie dies einige spätere Beobachtungsreihen zur Genüge zeigen, wo ich ausnahmsweise vollständigere Daten mitgetheilt habe. Sicher mit Recht betrachten wir also Haupt- und Nebenbatteriestrom als ungleichartige Ströme.

b) Nebenstrom des Hauptstroms und Nebenbatteriestrom.

Der Hauptdrath bestand aus 15′, (24′), Sp. I und 4′ zum Wechseln der Stromrichtung in Sp. I; der Nebendrath war 7′, (24′), Sp. (2) und die Verzweigung durch Sp. II und $P + 1\frac{1}{2}'$. Der Hauptstrom in Sp. I erregte hier einen Nebenstrom durch $P + 1\frac{1}{2}'$; dieser

fiel gleichlaufend oder conträr zusammen mit dem Theilstrom des Nebenbatteriestroms. Ich erhielt:

Zusatz im Nbdr.	0′	8′	12′	16′	24′	32′	40′
gleichl.	15·7	13·2	11·7	10·5	9·5	9·0	9·2
contr.	9·2	11·7	13·5	15·2	16·5	16·7	16·5;

war die Nebenbatterie geöffnet, so betrug der Nebenstrom 13·0.

Diese Reihe stimmt in ihrem Gange mit der vorigen völlig überein, so dass der dem Hauptstrom gleichartige Nebenstrom mit dem Nebenbatteriestrom ebenfalls ungleichartig ist. In dieser Reihe tritt übrigens bei gleichl. der Wendepunkt des Minimums und bei contr. der Wendepunkt des Maximums hervor; beide treffen an derselben Stelle zusammen.

Man erhält eine viel stärkere Einwirkung beider Ströme auf einander, wenn man den Nebenstrom des Hauptstroms schwächt. Es wurde hierzu der Hauptdrath aus 15′, (24′), Sp. II und 4′ zum Wechseln der Stromrichtung zusammengesetzt; der Nebendrath bestand aus 9′, (24′) und der Verzweigung durch Sp. I und $P+1\frac{1}{2}'$; bei ausgelöster Nebenbatterie betrug der Nebenstrom nur 6·8. Die Erwärmungen waren:

Zus. im Nbdr.	0′	8′	16′	24′	26′	28′	32′	40′	48′	56′
gleichl.	17·0	17·5	17·0	15·0	13·7	13·0	10·5	6·7	4·5	3·7
contr.	4·2	5·5	8·5	12·2	13·5	14·5	15·5	15·7	15·0	13·5

Beide Reihen zeigen nur noch den Wendepunkt des Maximums, der in beiden gleich weit von der Stelle abliegt, wo die Ladung der Nebenbatterie in ihrem Maximum ist. Der andere Wendepunkt liegt so weit zurück, dass ich ihn nicht erlangen konnte [1]). Als Sp. I durch ein besonderes $P+1\frac{1}{2}'$ geschlossen war und der Nebenbatteriestrom allein unmittelbar durch das Thermometer ging, wodurch die Länge des Haupt- und Nebendraths nicht wesentlich geändert wurde, so betrug der Nebenbatteriestrom, auf dessen Stärke jetzt die Änderung der Stromrichtung in Sp. I natürlich keinen Einfluss äusserte, bei

Zusatz im Nbdr.	0′	16′	26′	36′	56′
	6·5	11·8	13·2	10·8	4·7.

[1]) Der so schnelle Wechsel der Zahlen in der Nähe des Maximums der Ladung machte die Reihen zur Bestimmung der äquivalenten Länge der Spiralen äusserst bequem. Ich schaltete daher in den Nebendrath eine Spirale ein und änderte den Hauptdrath so lange, bis die Nebenbatterie nahe ihre grösste Ladung hatte; dann sah ich zu, wie viele Fuss Kupferdrath ich statt der Spirale einschalten musste, um wieder dieselbe Zahl zu erhalten. Dies ergab Sp. III = 24′, Sp. (2) = 35′ und Sp. (1) = 51′. Mit den verbundenen Spiralen I und II habe ich keine Beobachtungen angestellt.

e) Hauptstrom und Nebenstrom des Nebenbatteriestroms.

Der Hauptdrath bestand aus 15′, (24′), Sp. (1), der Verzweigung durch Sp. II und $P + 1^1/_2{}'$ und aus 4′ zum Wechseln der Stromrichtung; der Nebendrath enthielt 9′, (24′) und Sp. I. Es erregte hier der Nebenbatteriestrom in Sp. I. einen Nebenstrom über $P + 1^1/_2{}'$, der mit dem Theilstrom des Hauptstroms in gleicher oder conträrer Richtung zusammentraf. Die Beobachtung lieferte:

Zusatz im Nbdr.	0′	12′	24′	36′
gleichl.	16·8	15·2	11·5	9.0
contr.	10·0	8·9	11·0	15·0,

also wieder eine ganz ähnliche Reihe. — Um wenigstens einige vollständigere Reihen zu erhalten, wurden 2′ *K* im Nbdr. durch *P* ersetzt, damit auch die Stärke des Nebenbatteriestroms allein beobachtet werden konnte. Dies gab:

Zusatz im Nbdr.	Wärme aus Hauptstrom und Nebenstrom des Nebenbatteriestroms.		Wärme des Nebenbatteriestroms	
	gleichl.	contr.	gleichl.	contr.
0′	15·5	9·4	4·6	2·2
4′	15·1	9·0	5·1	3·0
8′	14·1	8·2	5·7	3·7
12′	13·0	8·0	6·5	4·5
16′	12·2	8·2	6·9	5·2
20′	11·0	9·0	7·2	5·5
24′	10·0	10·0	7·5	5·7
28′	9·0	11·0	7·1	5·2
32′	8·2	12·3	6·7	4·5
36′	8·0	13·1	6·2	4·0
Nbtt. offen	13·8	13·8		

Diese Reihe zeigt zunächst, dass von Sp. II, wodurch ein geringer Theil des Hauptstroms geht, eine Nebenwirkung auf den Nebenbatteriestrom ausgeht; merkwürdig ist es indess, dass diese Schwächung auf die vereinigte Wirkung beider Ströme fast keinen Einfluss ausübt, ein sicheres Zeichen, dass die Erklärung der uns vorliegenden Thatsachen aus ganz andern Principien abgeleitet werden müsse, als welche wir oben für das Zusammenwirken gleichartiger Ströme gefunden haben. Wurde das *P* im Nebendrath wieder durch 2′ *K* ersetzt, dagegen in den Hauptdrath *P* statt 2′ eingeschaltet, so lieferte die Beobachtung:

Zusatz im Nbdr.	Wärme aus Hauptstrom und Nebenstrom des Nebenbatteriestroms		Wärme im Hauptstrom	
	gleichl.	contr.	gleichl.	contr.
0′	13·1	7·2	8·2	11·5
4′	13·1	7·1	8·2	11·5
8′	12·5	7·1	8·3	11·2
12′	12·0	7·1	8·5	10·7
16′	11·0	7·0	8·5	10·1
20′	10·1	7·7	9·0	9·7
24′	9·2	8·5	9·2	9·6
28′	8·7	9·7	9·5	9·5
32′	7·7	10·5	9·7	9·5
36′	7·0	11·4	10·0	9·2
40′	7·1	12·1	10·3	9·1
44′	7·1	11·8	10·5	9·1
Nbtt. offen	9·9	9·9	11·0	11·0

Die Erwärmung im Hauptdrath richtet sich genau nach der Erwärmung im Nebendrath, d. h. hier im combinirten Haupt- und Nebenbatteriestrom; denn da die Totalwärme constant bleibt, so nimmt die Wärme im Hauptdrath zu, wenn sie im Nebendrath sinkt, und umgekehrt.

Die Einwirkung beider Ströme auf einander wird geringer, wenn man den Nebenstrom der Nebenbatterie schwächt. Um dies zu zeigen, wurde der Hauptdrath aus 15′, Sp. (2), (24′) und der Verzweigung aus Sp. I mit $P + 1\frac{1}{2}'$ nebst 4′ zum Wechseln der Stromrichtung gebildet; der Nebendrath enthielt 9′, (24′) und Sp. II, welche in Sp. I bekanntlich einen schwächeren Nebenstrom erzeugt. Dies gab:

Zusatz im Nbdr.	0′	4′	8′	12′	16′	20′	24′	28′	32′	40′
gleichl.	16·0	16·7	15·5	14·5	13·2	12·2	12·0	11·7	11·2	11·7
contr.	12·7	12·2	12·0	11·7	11·2	11·0	11·2	11·7	13·0	14·5

Auffallend ist hier, wie nahe der Wendepunkt des Minimums an die Stelle heranrückt, wo beide Reihen übereinstimmen, während der Wendepunkt des Maximums weiter zurücktritt. Es ist dies so ziemlich das umgekehrte Verhältniss von der Reihe unter III 6).

Damit man sich auch von der geringen Einwirkung überzeuge, welche die Spiralen (natürlich Sp. I geschlossen durch $P + 1\frac{1}{2}'$) im Verhältniss zu den gespannten 24′ ausüben, wurden unter sonst unveränderten Umständen die (24′) aus dem Haupt- und aus dem Nebendrath und damit aus letzteren noch 2′ entfernt. Die Beobachtung lieferte jetzt:

Zusatz im Nbdr.	0′	8′	16′	24′	32′	40′
gleichl.	17·2	17·7	17·2	15·5	14·7	16·0
contr.	17·2	17·5	17·2	15·5	15·0	16·2

Man sieht in diesen Reihen kaum mehr als das Sinken und Steigen des Hauptstroms, wenn der Strom der Nebenbatterie zu- oder abnimmt, oder, wenn man es schärfer nehmen will, das gleichmässige Steigen und Fallen in beiden Reihen von 24′ Zusatz ab, weil jetzt beide gleichlaufende sind, denn die conträre Richtung des Hauptstroms ladet auch die Nebenbatterie in conträrer Richtung. — War die Nebenbatterie geöffnet, so gab das Thermometer 17·2 an.

d) Nebenstrom des Hauptstroms und Nebenstrom des Nebenbatteriestroms.

Der Hauptdrath bestand aus 15′, (24′), Sp. (1) und 4′ zum Wechseln der Stromrichtung, der Nebendrath aus 9′, (24′) und Sp. I; die in Sp. (2) und Sp. II, welche mittelst 3′ und 1½′ mit demselben Thermometer verbunden waren, erregten Nebenströme und wirkten hier auf einander. Dies gab:

Zusatz im Nbdr.	0′	4′	8′	16′	24′	32′	40′
gleichl.	11·2	9·5	8·5	7·2	6·6	6·7	7·0
contr.	11·0	12·0	13·5	15·0	14·7	14·5	14·0

Aus Versehen war hier die längere Sp. I in den Nebendrath gekommen, wodurch die Stelle, wo der Nebenbatteriestrom sein Maximum hat oder wo beide Reihen mit einander übereinstimmen, gerade auf 0′ Zusatz im Nbdr. fiel; man hat also nur die eine Seite beider Reihen; es kann dies jedoch genügen, nachdem schon so viele, sämmtlich mit einander correspondirende Reihen mitgetheilt worden sind.

IV. Zweigströme des Nebenbatteriestroms mit einander oder mit dem Hauptstrom.

a) Die Zweigströme mit einander.

In einer Abhandlung, die demnächst in Pogg. Ann. erscheinen wird, habe ich über die Wärmeentwickelung in zwei gleich langen Zweigen des Nebendraths, denn nur solche werde ich hier herbeiziehen, bei Gleichheit der Haupt- und Nebenbatterie folgende Beobachtungen mitgetheilt. Sind die Zweige und der Stamm zusammen in äquivalenter Länge dem Hauptdrath gleich, so ist die Wärme in beiden Zweigen gleich gross; verkürzt man von hier ab

den Stamm, so steigt die Wärme in Zw. II und sinkt in Zw. I, wo Zw. I denjenigen Zweig bezeichnet, welcher den gespannten Drath enthält; umgekehrt, verlängert man den Stamm, so sinkt die Wärme in Zw. II und steigt in Zw. I. Die Wärme im Stamm steht dabei zur Wärme in den Zweigen immer in dem Verhältniss, welches die Gesetze einer sich über einen verzweigten Schliessungsbogen entladenden Batterie verlangen, nur muss der über die Zweige nebenbei verlaufende Nebenstrom zuvor ausgeschieden werden. Wir wollen nun sehen, was die jetzigen Beobachtungen an neuen Daten hinzufügen.

Der Hauptdrath bestand aus 15' und (24'), d. h. die Hauptbatterie entlud sich einfach über die gespannten 24', wobei zur Verbindung noch 15' gebraucht wurden. Die Nebenbatterie erhielt zwei gleich lange Zweige und einen Stamm von 2'. Zu Zw. I wurden verwendet die zweiten gespannten 24', dazu 33' und die Verzweigung durch Sp. II und $P + 1\frac{1}{2}'$, also eine Drathlänge von etwa 60'; den Zweig II bildeten Sp. I, Sp. (1) und 6'. Die äquivalente Länge dieses Zweiges lässt sich schwer anschlagen, doch da Sp. (1) frei ist, so muss sie nach den obigen Angaben zu 51' gerechnet werden; Sp. I dagegen erregt einen starken Nebenstrom in Sp. II und wird desshalb an äquivalenter Länge kürzer als an natürlicher Länge; jedenfalls war also Zw. II noch länger als Zw. I. Um diese beiden Zweige so weit als möglich gleich lang zu machen, wurden sie von der Nebenbatterie abgelöst, und ohne weiter in ihrer Stellung gegen einander verändert zu werden, durch 8' *K* in den Hauptdrath eingeschaltet; es ging also durch jeden Zweig ein Theil des Hauptstroms in bekannter Richtung; von dem Theil durch Zw. I ging wieder ein Theil (0·91 nach 1 *a*) durch das Thermometer und Zw. II erregte durch dasselbe Thermometer einen Nebenstrom, der dem 0·94ten Theil seines Stroms gleich kommt; beide Zweige schickten also einen ziemlich gleichen Theil ihres Stroms durch das Thermometer. Richtete man also die Verbindung in Zw. II so ein, dass die beiden Ströme das Thermometer einmal in derselben, dann in entgegengesetzter Richtung durchflossen, so mussten beide Zweige dieselbe Länge haben, also auch durch beide ein gleich grosser Stromtheil hindurchgehen, wenn die resultirende Wärme bei conträrer Richtung = 0 ward. Während Zw. I verlängert wurde, gab die Beobachtung:

Zus. im Zw. I	contr.	gleichl.
0′	0·5	—
8′	0·3	—
16′	0·0	12·4

Als hierauf die Zweige wieder mit der Nebenbatterie verbunden waren, ergab sich:

Zus. im Zw. I	contr.	gleichl.
0′	1·8	—
8′	1·4	—
16′	1·0	10·2

Diese Thatsache ist für die Theorie von äusserster Wichtigkeit. Nimmt man wie gewöhnlich an, dass sich die Nebenbatterie durch einen Strom ladet, der von Zw. I herkommt, so geht dieser zuerst in der Richtung nach der Nebenbatterie und sendet dabei einen Theil in dieselbe und den andern durch Zw. II in der Richtung von der Nebenbatterie her; hernach entladet sich die Nebenbatterie und beide Zweige erlangen Ströme, die von der Nebenbatterie ausgehen; somit entstehen in Zw. I zwei Ströme von entgegengesetzter, in Zw. II zwei andere von gleicher Richtung; oder vergleichen wir die Ströme in beiden Zweigen mit einander, so fliessen die ersten Theile in beiden in entgegengesetzter, die zweiten in gleicher Richtung, sofern das Arrangement der Zweige so beschaffen ist, wie ich es in der obigen Tabelle mit gleichl. bezeichnet habe; bei dem Arrangement, das mit contr. bezeichnet ist, sind die ersten Theile gleichlaufend, die zweiten einander entgegengesetzt. Nun wissen wir freilich nicht, wie gross die ersten Theile der Ströme im Verhältniss zu einander sind, jedenfalls müsste aber, wenn die gewöhnliche Ansicht bestehen soll, bei contr. eine grössere Wärme hervortreten, als die Beobachtung angibt, und umgekehrt bei gleichl. eine geringere, da in beiden Fällen immer zwei Theile sich verstärken und die zwei andern sich mehr oder weniger aufheben; denn dass diese Theilströme mit einander gleichartig sind, darüber kann kein Zweifel obwalten. — Nach meiner Ansicht soll die Ladung der Nebenbatterie durch eine Gliederung oder Kette im Nebendrath ohne Wärmeentwickelung entstehen, und die Zweigströme stammen einfach von der Entladung der Nebenbatterie her; ist dies der Fall, so müssen sich die Ströme in den Zweigen des Nebendraths ebenso wie im Hauptdrath bei conträrer Verbindungsweise aufheben. Nach der Beobachtung bleibt eine Wärme = 1·0, während die aus der gleichlaufenden Verbin-

dungsweise herkommende Wärme 10·2 recht schön mit der im Hauptdrath übereinkommt, also meine Ansicht unterstützt. Allein wegen der Wärme bei conträrer Verbindungsweise haben wir zu berücksichtigen, dass durch beide Zweige ein Nebenstrom geht, der in dem geschlossenen Ringe derselben von den gespannten 24′ aus zu gleicher Zeit inducirt wird. Dieser Nebenstrom geht den ganzen Ring in derselben Richtung herum, läuft also durch beide Zweige nach der oben gebrauchten Bezeichnungsweise, wo die Zweige als vom Stamm ausgehend angesehen wurden, in entgegengesetzter Richtung, er verstärkt sich also bei der conträren und zerstört sich bei der gleichlaufenden Verbindungsweise. So war dann auch, als Zw. I um 16′ verlängert blieb, und die Nebenbatterie ausgelöst wurde, der Nebenstrom bei contr. 0·5, bei gleichl. 0·0.

Da es mir zu wichtig war, den Thatbestand hier so sicher als nur möglich festzustellen, so vervollständigte ich diese Beobachtung. Die Zweige blieben wie vorher, nur wurde in Zw. II die Sp. (1) durch Sp. (2) ersetzt, wodurch, wie ich annehmen konnte, die 16′ Zusatz in Zw. I, die ohnedies nicht recht bequem angebracht waren, erspart werden konnten. Der Hauptdrath blieb unverändert. Zunächst wurden die Zweige wieder in den Hauptdrath eingeschaltet; dies gab:

Zus. in Zw. I	contr.	gleichl.	Zw. I allein
0	0	12·7	4·7

Beide Zweigströme waren also, wenigstens dem Thermometer nach, einander gleich. Ich fügte hier noch die Beobachtung der in Zw. I allein erregten Wärme bei; es wurde nämlich das Thermometer aus seiner Verbindung mit Sp. II gelöst und der Drath des Zw. I unmittelbar durch das Instrument geführt, dadurch wurde die Länge dieses Zweiges nicht wesentlich geändert; um ebenso die Länge von Zw. II unverändert zu erhalten, wurde Sp. II durch ein besonderes $P + 1\frac{1}{2}'$ geschlossen. Die beiden Zahlen 12·7 und 4·7 stimmen gut zu einander. — Es wurden hierauf beide Zweige in den Nebendrath eingefügt und der Stamm nach und nach verlängert; dies gab:

Zusatz im Stamm des Nebendraths	contr.	gleichl.	Zw. I allein
0′	0·7	12·2	5·5
4′	1·0	12·0	5·7
12′	1·0	8·0	4·9
20′	1·0	4·2	3·1
40′	0·8	0·5	1·0

Bei ausgelöster Nebenbatterie und contr. Nebenstrom 0·7.

Dass zunächst die Wärme in Zw. I allein wächst und im Verhältniss zu gleichl. bedeutend ist, erklärt sich zur Genüge daraus, dass, wie ich oben bemerkte, die Wärme in Zw. I gegen die in Zw. II mit Verlängerung des Nebendraths zunimmt. Die bei der conträren Verbindungsweise auftretende Wärme kann füglich aus dem Nebenstrom allein stammen, doch merkwürdig war es mir, dass sie etwas variirte. Um diesen Umstand aufzuklären, machte ich die Zweige noch kürzer, Zw. I aus (24′), 7′ und der Verzweigung aus Sp. II und $P + 1^1/_2{}'$, Zw. II aus Sp. I und 8′; der Stamm des Nebendraths betrug 2′. In den Hauptdrath eingefügt gaben diese Zweige:

contr.	gleichl.	Zw. I allein
0	12·5	4·2

Im Nebendrath dagegen ward:

Zusatz im Stamm des Nebendraths	contr.	gleichl.	Zw. I. allein
0′	1·6	5·5	1·7
4′	1·5	8·0	2·7
12′	1·5	12·0	5·7
20′	2·0	9·8	6·2

Nebenbatt. geöffnet und contr. Nbstr. 2·0, gleichl. 0.

Diese Reihe gibt erst die vollständige Aufklärung, da die Zweige so kurz sind, dass sie noch eine ziemliche Verlängerung des Nebendraths vertragen, bevor die Ladung der Nebenbatterie ihr Maximum erlangt. Ist zwar der Nebenstrom beträchtlicher geworden, nämlich bei conträrer Verbindung = 2·0, so geben dafür die Zweige conträr verbunden bis zum Maximum der Ladung eine geringere Wärme an, die sich erst hinterher steigert. Hier ist es durchaus nicht zu verkennen, dass wir es bei der conträren Verbindungsweise nur mit einem Nebenstrom zu thun haben, der entweder unter dem Einfluss des sehr schwachen Nebenbatteriestroms der Zweige, der offenbar nur scheinbar, nur dem Thermometer nach, gänzlich aufgehoben ist, genau denselben Gang durchmacht, wie ihn überhaupt der Nebenstrom des Hauptstroms unter dem Einflusse des Nebenbatteriestroms nach den oben mitgetheilten Reihen durchmacht, oder der kleiner ausfällt, wenn der Nebenbatteriestrom stark, also der Hauptstrom verringert ist, so dass er nur einen schwächeren Nebenstrom erregt.

So viel steht demnach unwiderleglich fest, dass durch die beiden Zweige des Nebendraths genau gleichartige und nahe gleich starke[1]) Ströme hindurchgehen, und es verstösst durchweg gegen die Beobachtungen, in Zw. I zwei Ströme von entgegengesetzter, in Zw. II zwei von gleicher Richtung anzunehmen.

Damit die Thatsache auch noch bei einem andern Arrangement der Zweige constatirt würde, blieb der Hauptdrath wieder unverändert, dagegen wurden in den Stamm des Nebendraths 5′ genommen und Zw. I aus (24′), 4′ und Sp. I, Zw. II aus 26′ und Sp. (1) gebildet, dabei aber Sp. II mittelst 4′ und Sp. (2) mittelst 2½′ mit demselben Thermometer verbunden. Die conträre und gleichlaufende Verbindungsweise wurde bei Sp. II bewirkt. Als die Zweige in den Hauptdrath eingefügt waren, folgte:

Zusatz in Zw. II	0′	5′	8′	13′
contr.	0·9	0·5	0·2	0·0
gleichl.	—	—	—	12·0

In dem Nebendrath gaben die beiden gleich langen Zweige:

Zusatz im Stamm	0′	4′	8′	16′	24′
contr.	0·7	0·8	1·0	1·0	1·0
gleichl.	10·7	8·7	6·7	3·2	2·0.

Der Nebenstrom betrug bei ausgelöster Nebenbatterie und conträrer Verbindungsweise 1·0. Diese Reihe bestätigt die vorhergehende vollkommen.

b) Zweigstrom der Nebenbatterie und Hauptstrom.

Um die Natur des Nebenbatteriestroms aufzuklären, können keine Beobachtungen günstiger sein, als wenn man die Zweigströme der Nebenbatterie mit dem Hauptstrom selbst combinirt, indem alle Ansichten darin übereinkommen, dass durch Zw. II ein durchweg gleich gerichteter Strom hindurchgeht; sollte nun, wie es die gewöhnlichen Ansichten voraussetzen, dieser auf dieselbe Weise entstehen wie der Nebenstrom der Hauptbatterie, so müssten wenigstens bei diesem Zweige dieselben Gesetze hervortreten, wie wir sie oben beim Haupt- und Nebenstrom gefunden haben. Dem Nebendrath wurde ein Stamm von 2′ und dazu 2 Zweige gegeben, nämlich Zw. I = (24′),

---

[1]) Wie sich dies mit den früheren Beobachtungen über die ungleiche Wärme in gleich langen Zweigen verträgt, s. weiter unten.

7′ und P, Zw. II = Sp. I und 8′, wobei aber Sp. II durch $P + 1\frac{1}{2}'$ geschlossen blieb [1]; diese Zweige haben wir vorher als gleich lange kennen gelernt.

Der Hauptdrath bestand aus 15′, (24′) und noch 4′, die entweder mit P in Zw. I oder mit Sp. II in Zw. II verbunden waren, um den Strom auch hierdurch zu leiten und zugleich seine Richtung zu wechseln. Es wurde also in Zw. I die gemeinsame Wirkung vom Zweigstrom der Nebenbatterie und vom Hauptstrom, in Zw. II die Wirkung vom Nebenstrom des Zweigstroms und vom Theilstrom des Hauptstroms beobachtet. Es ergab sich:

Zusatz im Stamm des Nbdr.	in Zw. I		in Zw. II	
	gleichl.	contr.	gleichl.	contr.
0′	15·0	15·8	17·0	11·0
4′	15·0	15·2	17·1	10·7
12′	12·8	14·5	15·0	9·7
20′	10·2	14·0	13·2	9·0
28′	9·7	16·0	12·7	10·7
36′	10·5	18·7	13·5	12·5
44′	11·2	18·5	14·6	12·7
Nbtt. offen, d.h. Nbstr. mit Hptstr.	13·5	18·5	16·7	12·7

So wie die Reihen jetzt stehen, lassen sie sich etwas schwierig mit einander vergleichen, weil, wie die Beobachtung bei ausgelöster Nebenbatterie zeigt, mit dem Hauptstrom zugleich ein Nebenstrom durch das Thermometer hindurch geht. Will man wenigstens annähernd eine bequemere Vergleichung haben, so kann man die Zahlen dadurch umschreiben, dass man die beiden Reihen in Zw. I von 13·5 und 18·5 auf das Mittel 16·0 reducirt, und dem entsprechend in Zw. II 16·7 und 12·7 ebenfalls auf 16·0, weil der Zweigstrom und Nebenstrom hier um 0·92 geringer sind; kann dies freilich in beiden Zweigen, wie schon III *a*) verglichen mit III *b*) lehrt, nicht auf ganz gleiche Reihen führen, so wird doch die Übersicht dadurch einigermassen erleichtert, wesshalb ich die reducirten Zahlen hersetze.

---

[1] Die Platindräthe P waren hier zwei verschiedene, so dass die Zweige ganz von einander getrennt waren.

Zusatz im Stamm des Nbdr.	in Zw. I		in Zw. II	
	gleichl.	contr.	gleichl.	contr.
0′	17·8	13·6	16·3	13·8
4′	17·8	13·1	16·4	13·5
12′	15·1	12·6	14·4	12·2
20′	12·1	12·0	12·7	11·3
28′	11·5	13·8	12·2	13·5
36′	11·4	16·2	12·9	15·6
44′	13·2	16·1	13·9	15·8

Beide Reihen in Zw. I sowohl als in Zw. II sind jetzt unter einander so übereinstimmend und fallen mit den Reihen in III so auffällig zusammen, dass über die Natur der Zweigströme und über ihre Gleichartigkeit mit dem vollen Nebenbatteriestrom kein Zweifel sein kann [1]). Wenn also in Zw. II nach der Annahme Aller der Strom stets dieselbe Richtung beibehält, so folgt daraus unabweislich, dass auch der Strom in Zw. I und ebenso der einfache Strom der Nebenbatterie nicht ein hin- und hergehender ist, sondern ein sich durchweg gleich bleibender sein muss. Mit der Natur des Nebenstroms, der nach den gewöhnlichen Ansichten die Nebenbatterie laden soll, hat der Nebenbatteriestrom auch nicht das Geringste gemein.

Da sich die Untersuchung vorzüglich auf Zw. II hinwenden muss, so habe ich für ihn noch eine Reihe angestellt, indem ich, um eine stärkere Einwirkung zu erlangen, nach III *b*, den Nebenstrom des Hauptstroms verminderte. Der Hauptdrath war 15′, (24′), Sp. II und 4′ zum Wechseln der Stromrichtung; im Nebendrath bestand der Stamm aus 7′, Zw. I aus (24′), 4′ und Sp. (2), Zw. II aus 5′, Sp. (1) und die Verzweigung durch Sp. I und $P + 1\frac{1}{2}'$. Hier wirkte der Theilstrom von Zw. II und der durch Sp. II in Sp. I erregte Nebenstrom des Hauptstroms auf einander. Die Beobachtung gab:

[1]) Auch der Ort, wo die Nebenbatterie das Maximum ihrer Ladung erhält, oder wo bei gleichl. und contr. gleiche Wärme entsteht, stimmt mit der Reihe in IV *a*) überein; dort war dieser Ort bei etwa 12′ Zusatz im Nebendrath, hier, wo für Zw. I der Hauptdrath um 6, für Zw. II um etwas über 7′ verlängert ist, fällt er auf etwa 20′ Zusatz. Der Wendepunkt des Minimums trifft mit dieser Stelle fast ganz zusammen wegen der im Verhältniss zum Hauptstrom schwachen Zweigströme der Nebenbatterie; vergleiche damit die zweite Reihe unter III *c*).

Zusatz im Stamm des Nbdr.			umgeschrieben auf 6·4	
	gleichl.	contr.	gleichl.	contr.
0′	11·2	3·2	8·8	4·5
8′	12·0	3·2	9·4	4·5
16′	11·0	4·5	8·4	6·4
24′	8·2	6·7	6·4	9·5
32′	6·2	7·7	4·8	11·1
40′	6·5	6·7	5·1	9·5
48′	6·5	6·5	5·1	9·2
Nbtt. offen	8·2	4·5	—	—

Diese Reihen sind wieder durchaus ähnlich mit denen des Nebenbatteriestroms. Die auf 6·4 umgeschriebene Tabelle zeigt selbst, wie die Einwirkung beider Ströme auf einander bei dem durch den Nebenstrom noch mehr geschwächten Hauptstrom stärker hervortritt.

c) Partieller Strom beim Überschlag der Nebenbatterie und Hauptstrom oder Nebenstrom desselben.

Wenn man die Belegungen der Nebenbatterie mit den Kugeln des Funkenmessers verbindet, so entladet sich dieselbe, je nachdem der die Verbindung herstellende Drath im Verhältniss zum Nebendrath kürzer oder länger ist, nach den bekannten Gesetzen über die Theilung des Stroms mehr oder weniger über den Funkenmesser. Allein selbst dann, wenn man die Kugeln des Funkenmessers so unmittelbar als möglich mit den Belegungen verbindet, also fast den ganzen Entladungsstrom über die Kugeln leitet, zeigt sich doch immer noch im Nebendrath eine kleine Erwärmung, etwa $^1/_4$ von der Totalerwärmung im Nebendrath, die für den Fall eintritt, dass keine Entladung über den Funkenmesser stattfindet. Nach den gewöhnlichen Ansichten würde sich in dieser Erwärmung offenbar derjenige Strom kund geben, welcher die Nebenbatterie ladet; nach meiner Ansicht dagegen, entsteht dieser Strom daraus, dass die Nebenbatterie nicht momentan ihre Ladung annimmt, sondern ihre Thätigkeit schon beginnt, ehe sie ihre volle Ladung erhalten hat, d. h. die Nebenbatterie kommt von dem Momente an in Thätigkeit, wo die Einwirkung des Hauptstroms beginnt, ihre Spannung schreitet aber noch zu einem höheren Grade fort, während sie schon neben dieser Steigerung

den Nebenbatteriestrom unterhält. Nach meiner Ansicht würde also dieser partielle Strom, wie ich ihn nennen will, ganz die Natur des Nebenbatteriestroms besitzen müssen, während er nach den gewöhnlichen Ansichten ein Strom sein würde, der nur nach der Nebenbatterie zu geht, und der sich eben dadurch von dem Nebenbatteriestrom unterschiede, welcher zuerst nach der Nebenbatterie geht und dann wieder zurückkehrt. Für die Theorie ist es demnach von besonderer Wichtigkeit, die Natur dieses partiellen Stroms durch Beobachtungen genau festzusetzen. Leider hat die Untersuchung hier mit grossen Schwierigkeiten zu kämpfen. Zuerst ist dieser partielle Strom an und für sich gering, so dass er nur eine schwächere Einwirkung auf einen zweiten Strom, der mit ihm denselben Drath durchfliesst, ausübt; sodann bleibt er unter constanten Verhältnissen nicht ganz constant: stellt man die Kugeln des Funkenmessers auf die grösstmögliche Schlagweite, so hat der Überschlagsfunken bisweilen, wenn ich so sagen darf, etwas Zersplittertes, es geht nicht der ganze Strom über, der über den Funkenmesser gehen sollte, und der partielle Strom, zu dem sich ein Theil der Entladung gesellt, wird grösser; stellt man die Kugeln näher an einander, so wird der partielle Strom zwar gewöhnlich geringer, weil der geringere Grad der Ladung der Nebenbatterie schneller erreicht wird, allein er bleibt auch bisweilen in seiner vorigen Stärke, weil sich die Ladung der Nebenbatterie trotz der näher stehenden Kugeln bis zu voller Kraft aufschnellt; man erhält also im partiellen Strom Zahlen, die noch stärker variiren; endlich wird durch den Überschlagsfunken der Nebendrath geschlossen und es kann jetzt durch ihn der vom Hauptdrath aus erregte Nebenstrom zu gleicher Zeit fliessen; es kommt also zu dem partiellen Strom jedesmal noch ein Nebenstrom hinzu, der die Beurtheilung der beobachteten Zahlen erschwert. Ich gebe daher in dem Folgenden die Grenzen der Zahlen an, die bei 4 bis 5 einzelnen Beobachtungen hervortraten (nur in der zweiten Reihe das Mittel), notire die Distanz der mit den Belegungen durch kurze dicke Dräthe verbundenen Kugeln des Funkenmessers auf die gewöhnliche Weise, wobei der erste Überschlag nahe der grösste ist, der erlangt werden konnte, und gebe zugleich die gemeinsame Wirkung des Haupt- und Nebenstroms an, wenn die Nebenbatterie ausgelöst und die Enden des Nebendraths unmittelbar mit einander verbunden waren.

Hauptdrath 15′ (24′), *P* und 4′ zum Wechseln der Stromrichtung; Nebendrath 9′ (24′) und *P* gemeinsam mit dem *P* im Hauptdrath. Nach III *a)* findet hier das Maximum der Nebenbatterieladung bei einem Zusatz von 10′ im Nebendrath Statt.

Zusatz im Nebendrath	0′		10′	
	gleichl.	contr.	gleichl.	contr.
Überschlag (27)	10·0—11·0		(29) 8·0— 9·0	
„ (21)	11·0—12·2	12·7—14·0	(23) 9·5—10·2	12·5—13·5
Haupt- u. Nebenstrom	11·0	20·5	11·8	20·0

Zusatz im Nebendrath	24′	
	gleichl.	contr.
Überschlag (21)	9·7	
„ (27)	10·5—11·0	15·5—16·0
Haupt- u. Nebenstrom	13·6	19·0

Unter Berücksichtigung des Einflusses, welchen der Nebenstrom ausübt, zeigt diese Reihe ziemlich deutlich eine Einwirkung des partiellen Stroms auf den Hauptstrom in der Weise an, dass er bei 0′ Zusatz grössere Zahlen bei gleichl. und kleinere bei contr., umgekehrt bei 24′ Zusatz kleinere bei gleichl. und grössere bei contr. gibt; es findet also eine ganz ähnliche Einwirkung Statt, wie sie der gewöhnliche Nebenbatteriestrom ausübt.

Ein gleiches Resultat gibt mit einem ähnlichen Grade von Sicherheit die folgende Reihe. Hauptdrath 15′ (24′), Sp. (1), die Verzweigung zwischen Sp. II und $P+1\frac{1}{2}$, und 4′ zum Wechseln der Stromrichtung; Nebendrath 9′ (24′) und Sp. I. Nach III *c)* liegt das Maximum der Ladung bei 24′ Zusatz im Nebendrath.

Zusatz im Nbdr.	12′		24′		36′	
	gleichl.	contr.	gleichl.	contr.	gleichl.	contr.
Überschlag (17)	9·1	—	(21) 8·6	—	(17) 8·5	—
„ (13)	9·6	10·5	(15) 9·6	10·5	(13) 9·7	12·2
Haupt- u. Nebenstr.	10·8	14·4	11·0	14·2	11·2	14·0

Beide Reihen stellen die Sache noch nicht scharf genug dar; ein ganz genügendes Ergebniss erhielt ich erst, als ich den Hauptstrom oder vielmehr den Nebenstrom desselben schwächte. Hauptdrath 15′ (24′), Sp. II und 4′ zum Wechseln der Stromrichtung;

Nebendrath 9′, (24′) und Sp. I geschlossen durch $P+1\frac{1}{2}'$. Nach III *b*) erlangt die Nebenbatterie hier das Maximum ihrer Ladung bei 26′ Zusatz im Nebendrath.

Zusatz im Nbdr.	0′		16′	
	gleichl.	contr.	gleichl.	contr.
Überschlag (21)	6·5–6·7		(26) 7·0–7·5	7·0–7·7
„ (18)	3·2–7·7	8·5– 9·5	(23) 5·2–7·0	8·5–8·7
„ (15)	3·2–8·0	9·5–10·5	(19) 4·5–5·2	8·2–9·0
			(15) 3·2–7·0	
Haupt- u. Nebenstr.	1·2	13·2	2·2	11·5

Zusatz im Nbdr.	26′		36′	
	gleichl.	contr.	gleichl.	contr.
Überschlag (27)	5·2–7·5		(24) 4·0–5·0	—
„ (25)	5·5–5·7	8·5–8·7	(22) 4·0–4·5	10·0–10·0
„ (23)	4·2–4·5	8·2–9·5	(19) 3·5–4·0	8·5– 9·5
„ (15)	5·2–5·7	8·7–9·7	(15) 4·5–5·0	8·5– 9·0
Haupt- u. Nebenstr.	2·9	10·2	3·5	9·5

Diese Reihe zeigt den Gang der Einwirkung so deutlich, dass man mit voller Sicherheit das Resultat gewinnt: Der partielle Strom stimmt in seinem Verhalten mit dem Nebenbatteriestrom überein.

d) Überschlagstrom und Hauptstrom.

Wenden wir uns jetzt zum Überschlagstrom selbst, nämlich zu demjenigen, welcher über die mit der Nebenbatterie verbundenen Kugeln des Funkenmessers abströmt, so kann dieser allen Ansichten nach nur eine bestimmte Richtung haben, sofern er einfach ein Entladungsstrom der Nebenbatterie ist.

Die Schliessungsdräthe beider Batterien wurden zuerst so genommen, dass die Nebenbatterie im Maximum ihrer Ladung war. Hauptdrath 15′, (24′), P und 4′ zum Wechseln der Stromrichtung; Nebendrath 9′ (24′) und 10′; vergl. III *a*). Die eine Kugel des Funkenmessers wurde mit der inneren Belegung, die andere mit der äusseren in der Weise verbunden, dass der hierzu verwendete Schliessungsbogen 7′ K und P betrug, wo P mit dem P im Hauptdrath entweder gemeinsam oder von ihm verschieden sein konnte. Der Überschlag erfolgte bei (28), der für die conträre Verbindungsweise nahe der grösste war.

	gleichl.	contr.
Nebenbatterie offen; Hauptstrom allein	17·7	17·7
„ geschlossen; Überschlagstrom über ein besond. P; Hauptstrom	7·7	7·7
Im Hauptdrath ein besond. P; Überschlagstrom . .	13·3	
Überschlag- und Hauptstrom	19·0	19·0

Von Wichtigkeit für die Theorie ist es offenbar, dass der Überschlagstrom mit dem Hauptstrome dieselbe Wärme erzeugt, mögen beide durch denselben Drath in gleicher oder conträrer Richtung hindurchgehen.

Um ferner zu sehen, ob die veränderte Länge im Nebendrathe die Einwirkung ändert, wurde nach III *b*) die Länge des Hauptdraths 15′ (24′), Sp. I und 4′ zum Wechseln der Stromrichtung und des Nebendraths 15′ (24′) und Sp. (2) so gewählt, dass die Nebenbatterie bei 0′ Zusatz im Nebendrathe nahe das Maximum der Ladung erlangte. Der Überschlagstrom ging durch die Verzweigung von Sp. II und $P+1\frac{1}{2}'$ und traf mit dem Nebenstrome des Hauptstroms zusammen.

Zusatz im Nbdr.	0′		24′	
	gleichl.	contr.	gleichl.	contr.
Überschlag (24)	14·5	14·3		
„ (17)	14·0	14·0	(17) 13·5	13·5

Die Einwirkung des Überschlagstroms auf den Hauptstrom ist von der Länge des Nebendraths unabhängig. Es stimmt dies ganz mit der Ansicht überein, die ich mir bisher von der Entladung der Nebenbatterie beim Überschlage gebildet hatte; sie wird dadurch gleichsam in eine Batterie mit kürzerem Schliessungsdrath umgewandelt, die stets im Maximum der Ladung ist.

e) Überschlagstrom und Zweigstrom.

Der Schliessungsdrath über die Kugeln des Funkenmessers wurde so genommen, dass er mit dem Nebendrath ungefähr gleich lang wurde; die Entladung der Nebenbatterie erfolgte dann über zwei Zweige, deren Einwirkung auf einander bestimmt werden konnte. Es ist hierbei nur zu berücksichtigen, dass durch den Nebendrath, der den Zw. I bildete, bis zu dem Überschlagsfunken also bis zu dem Momente, wo über den Schliessungsdrath des Funkenmessers

oder Zw. II und über Zw. I die Entladung erfolgte, schon der partielle Strom hindurch gegangen ist. Hauptdrath 15′ und (24′) Zw. I 9′ (24′) und die Verzweigung zwischen Sp. II und $P+1\frac{1}{2}'$, Zw. II 12′ und Sp. I. Die Stromrichtung wurde in Sp. I gewechselt. Die Angaben sind Mittelwerthe aus den beobachteten nicht ganz gleichen Zahlen bei Überschlag (27).

gleichl.	contr.
13·5	4·7

Erfolgte der Überschlag nicht über Zw. II, sondern unmittelbar über die Kugeln des Funkenmessers, so gab das Thermometer in Zw. I 4·5. Da demnach die Erwärmung 4·7 bei contr. auf den partiellen Strom mit Einschluss des Nebenstroms zu beziehen ist, so folgt hieraus, dass der Überschlagstrom mit dem Nebenbatteriestrom gleichartig ist. —

Die so eben mitgetheilten Beobachtungen liefern theils eine Bestätigung der von mir bisher ausgesprochenen Ansichten, anderntheils haben sie mir aber auch einige Bedenken erregt. Eine Bestätigung meiner Ansichten finde ich darin, dass sich der Nebenbatteriestrom unter allen Verhältnissen und in allen seinen Theilen als gleichartig erwiesen hat, so dass man ihn unmöglich von einem sogenannten Ladungs- und Entladungsstrom der Nebenbatterie herleiten kann. Die Einwirkung der Zweige im Nebendrath auf einander, das Verhalten von Zweig II, die Stellung des Überschlagstroms, überhaupt die durchgehends gleiche Einwirkung des Nebenbatteriestroms auf den Hauptstrom, die auch nicht die geringste Ähnlichkeit mit der Wirkung eines Nebenstroms hat, sprechen unwiderleglich dagegen, dass auf dem Nebendrath ein gewöhnlicher Strom hin- und zurücklaufe; der Nebenbatteriestrom muss aus einer Kette oder Gliederung im Nebendrath abgeleitet werden, welche der Hauptstrom formirt, die Nebenbatterie spannt und in Thätigkeit setzt, damit derselbe in seinem Verhalten, sowohl als ganzer Strom, wie auch als Zweigstrom oder als Überschlagstrom durchgängig ein und derselbe bleibe. Dagegen entsteht mir das Bedenken, ob man nach dem bisherigen Sprachgebrauche von einer Richtung des Nebenbatteriestroms reden dürfe. Wir legen dem gewöhnlichen elektrischen Strome eine Richtung bei; gleichgerichtete Ströme verstärken sich, conträr gerichtete heben sich auf. Der Nebenbatteriestrom, selbst da, wo er als Zweigstrom oder als Überschlagstrom nach dem gewöhnlichen Sinne eine

bestimmte Richtung haben müsste, verhält sich nicht so gegen den Hauptstrom; ist der Nebendrath vom Maximum der Ladung ab verkürzt, so verstärkt er den gleich gerichteten Hauptstrom und schwächt den conträren; ist der Nebendrath verlängert, so bringt er die entgegengesetzte Wirkung hervor. Freilich seine eigene Art von Richtung hat der Nebenbatteriestrom ebenfalls, wenn man ihn nur wieder auf Nebenbatterieströme prüft, auch so verstärken sich gleichgerichtete und conträre heben sich auf; allein, wenn wir dasselbe Wort bei beiden Stromarten gebrauchen, so bezeichnen wir jedenfalls mit dem Worte Richtung beim Hauptstrome und beim Nebenbatteriestrome zwei verschiedene Bewegungsweisen der Molecule, die beide nichts mit einander gemein haben. Der Streit über die Richtung des Nebenbatteriestromes hat dann keinen rechten Sinn mehr, sobald man das, was man beim Haupt- oder Nebenstrome die Richtung nennt, in unveränderter Weise auf den Strom der Nebenbatterie überträgt. — Noch ein anderes Bedenken ist mir über die in der cit. Abtheilung gegebene Erklärung von der Stromtheilung durch zwei Zweige des Nebendraths entstanden. So viel steht zwar nach den dort mitgetheilten Beobachtungen fest, dass in zwei gleich langen Zweigen des Nebendraths, wenn wir zunächst bei diesem speciellen Falle stehen bleiben wollen, die Erwärmung sich mit der Länge des Stammes ändert; die Wärme in Zw. II ist bei kürzerem Strome grösser, bei längerem umgekehrt kleiner als in Zw. I, und nur bei der dem Maximum entsprechenden Länge in beiden Zweigen gleich gross; auch die dort nach Abscheidung des Nebenstroms geführte Berechnung halte ich innerhalb der angegebenen Grenzen für giltig, allein diese Thatsachen dürften wohl noch nicht die dort gegebene Erklärung begründen. Nach dem unter IV *a*) beobachteten Verhalten der Zweigströme gegen einander, scheint es nämlich jetzt nothwendig zu sein, das Verhältniss der Stromkraft in beiden Zweigen unter allen Bedingungen als gleich gross anzusehen, denn sonst könnten sich die beiden Zweigströme bei conträrer Richtung nicht immer aufheben, demnach den Grund für die Abnahme und Steigerung der Wärme in den Zweigen darin zu suchen, dass in ihnen eine Einwirkung auf den ebenfalls vorhandenen Nebenstrom stattfindet; da dieser in Zw. I dem Nebenbatteriestrom entgegengesetzt, in Zw. II gleichgerichtet ist (in dem Sinne, wie oben bei den Versuchen), so nimmt nach den neuen Erfahrungen bei zu kurzem Nebendrathe die Wärme in Zw. I

ab und im Zw. II zu, und das Umgekehrte findet bei zu langem Nebendrathe Statt. Wenn so die dort aufgestellte Hypothese eine Hauptstütze verliert, so bleibt von der andern Seite freilich immer noch das übrig, dass wir im Nebendrathe eine gerade entgegengesetzte Stellung der Molecule und damit eine gerade entgegengesetzte Schwingungsweise derselben annehmen müssen, wenn er von seiner Länge fürs Maximum ab verkürzt oder verlängert wird, da von dieser Stelle an sich die Wirkung des Nebenbatteriestroms auf den Hauptstrom gerade umkehrt; diese veränderte Stellung und Schwingungsweise muss ferner damit zusammenhängen, dass sich der in seinem Längenverhältnisse zum Hauptdrathe veränderte Nebendrath in die richtige Verfassung bringt, um den Gang der Nebenbatterie mit dem der Hauptbatterie in Übereinstimmung zu setzen; es ist vielleicht selbst möglich, dass, wie ich es that, Circularstellungen und Schwingungen zur Erklärung genügen; indess möchte ich nach den neuen Erfahrungen doch darauf aufmerksam machen, dass es mir bedenklich geworden ist, schon jetzt Hypothesen aufzubauen, wo es von Tag zu Tag immer deutlicher hervortritt, wie viele Thatsachen noch aufgedeckt werden müssen, ehe wir zu einer genügenden Erkenntniss des Nebenbatteriestroms gelangen können.

Anhang.

I. Indem ich untersuchen wollte, ob auch der Nebenstrom eine Ladung der Nebenbatterie bewirke, bin ich auf einige Thatsachen gekommen, die für die Theorie von Wichtigkeit sind, und von denen ich hoffen würde, dass sie auch bei den Bedenklichsten die Zuversicht zu den bisher allgemein angenommenen Ansichten erschüttern müssten, wenn nicht nach den bisherigen Erfahrungen meine Erwartungen gerade in dieser Beziehung gar zu gering geworden wären. Ich erlaube mir die Versuche als Anhang mitzutheilen.

Um den oben bezeichneten Zweck zu erreichen, wurde die Hauptbatterie *H* nach Fig. 2 durch 19′ *K* und die Sp. II *AB* geschlossen; der Hauptstrom erregte in Sp. III, die gerade eingeschoben war, einen Nebenstrom, der von *C, D* (den Näpfen der Spirale) aus durch die gespannten 24′ *E G K F* mittelst 4′ in *EC* und *FD* geleitet wurde; da der die Spirale schliessende Bügel hiernach 28′ lang ward, so konnte der Nebenstrom nur schwach sein. Die zweiten ausgespannten 24′ bildeten darauf mit 9′ und dem Thermometer *P* den Schliessungs-

drath der Nebenbatterie oder den Nebendrath. Ich erwartete nur eine geringe Ladung zu finden, allein ich erhielt:

Zusatz im Nbdr.	0′	4′	8′	12′	16′	20′
Nebenbatteriestrom	4·5	6·5	9·2	10·0	8·0	6·0,

also eine Ladung, die nicht viel grösser geworden wäre, wenn ich den Hauptdrath unmittelbar durch die (24′) bei gleichem Leitungswiderstande geführt hätte. Zugleich kam ich in Ungewissheit, ob für die dem Maximum der Ladung entsprechende Länge des Nebendraths die Länge des Hauptdraths oder die Länge des geschlossenen Drathringes, welchen der Nebenstrom durchläuft, nämlich Sp. III, (24′) und 4′ die Norm abgibt, da sich die äquivalenten Längen der auf einander wirkenden Spiralen II und III nicht mit Sicherheit feststellen liessen. Die letzte Ungewissheit hob sich sogleich, als ich in den Drathring des Nebenstroms bei *FD* nach Sp. (2) einschaltete. Es war jetzt:

Zusatz im Nbdr.	0′	4′	8′	12′	16′	20′
Nebenbatteriestrom	1·2	3·0	5·0	7·0	5·5	3·5

Also ist die Länge des Hauptdraths entscheidend, sicher nie sonderbares Verhältniss, wenn wirklich der Nebenstrom die beobachtete Induction veranlasst. Ehe ich zur weitern Untersuchung fortschritt, mochte ich den Werth der einzelnen Spiralen für den vorliegenden Fall etwas genauer kennen lernen. Es wurde daher Sp. (2) wieder entfernt und bei sonst unveränderten Verhältnissen nur die Spirale im Hauptdrathe und die im Drathringe des Nebenstroms geändert. Dies gab:

Zusatz im Nbdr.	0′	4′	8′	12′	16′	20′
Sp. II — Sp. I[1])	8·0	10·7	10·0	7·7	4·7	3·2
Sp. III — Sp. I	8·0	8·7	4·7	2·9	1·5	3·2
Sp. III — Sp. II	11·0	10·2	7·0	4·2	2·5	1·7
Sp. I — Sp. II	1·7	2·2	2·9	3·7	4·6	6·0
		24′	28′	32′	36′	
		7·7	9·0	9·0	7·7	

Damit ich mich aber nicht etwa in der Voraussetzung getäuscht hätte, dass der Nebenstrom, der durch die (24′) hindurchgeht, gering

[1]) Die zuerst stehende Spirale ist im Hauptdrath, die zweite im Drath des Nebenstroms.

ist, wurde bei FD noch P und bei CE noch $2'K$ hinzugefügt. Ich erhielt als Sp. II im Hauptdrath und Sp. I im Drath des Nebenstroms war:

Zusatz im Nebendr.	0′	4′	8′	12′	16′	26′	
Nebenbatteriestrom	6·7	9·5	9·5	7·5	4·6	3·0	Nbtt. offen
Nebenstrom	2·3	2·2	2·2	3·0	3·7	3·7	3·7

Über die Stärke des Nebenstroms hatte ich mich also nicht getäuscht; als neues Moment fügte jedoch diese Reihe noch die Veränderlichkeit des Nebenstroms hinzu, welche Beachtung verdiente.

Um die weitere Untersuchung zu vereinfachen, wurden nach Fig. 3 die beiden Spiralenpaare parallel zu einander aufgestellt, der Hauptdrath enthielt 19′ und eine Spirale AB des ersten Paars; der Drathring des Nebenstroms die andere CD und eine des zweiten Paars EF, die mittelst $3^1/_2$′ und P verbunden waren; in den Nebendrath kam die letzte Spirale GK geschlossen durch die Belegungen der Nebenbatterie N mittelst 7′ und P. Es wurde sowohl der Strom der Nebenbatterie als der Nebenstrom gemessen, dazu der letztere bei geöffneter Nebenbatterie, endlich der Nebenstrom zweiter Ordnung in GNK, wenn die Dräthe GN und NK mit Ausschluss der Nebenbatterie verbunden wurden und derjenige Zusatz im Nebendrath blieb, bei welchem das Maximum des Nebenbatteriestroms stattfand.

a) Im Hptdr. Sp. II, im Nbdr. Sp. (2), im Nbstrom. Sp. I und Sp. (1).

Zusatz im Nebendr.	2′	4′	8′	12′	16′	20′	24′
Nebenbatteriestrom	11·5	12·2	12·2	11·0	9·2	7·1	5·5
Nebenstrom	1·5	1·7	2·0	2·7	3·0	3·0	3·0

Nbatt. offen, Nbstr. 3·0; Nbstr. 2. Ord. 0·6.

b) Im Hauptdr. Sp. I, im Nbdr. Sp. (2), im Nbstrom. Sp. II und Sp. (1).

Zusatz im Nebendr.	4′	8′	16′	24′	28′	32′	36′	40′
Nebenbatteriestrom	3·5	4·5	6·2	8·0	9·5	9·7	9·7	9·5
Nebenstrom	2·3	2·1	1·8	1·8	1·9	2·1	3·0	3·0

Nbatt. offen, Nbst. 3·0; Nbstr. 2. Ord. 0·5.

c) Im Hptdr. Sp. I, im Nbdr. Sp. (1), im Nbstrom. Sp. II und Sp. (2).

Zusatz im Nebendr.	2′	4′	8′	12′	16′	20′	24′	28′	32′	40′
Nebenbatteriestrom	9·0	9·5	10·0	10·5	10·5	10·0	9·5	8·6	8·0	6·2
Nebenstrom	3·0	3·0	2·9	3·2	4·2	4·5	4·8	5·3	5·7	6·2

Nbatt. offen, Nbstr. 5·2; Nbstr. 2. Ord. 1·0.

Zu einer vollständigen Reihe wurde unter Anordnung des Apparates wie in *a)* noch P in den Hauptdrath eingefügt.

d)							
Zusatz im Nbdr.	2′	4′	8′	12′	16′	20′	24′
Nebenbatteriestrom	7·7	8·6	9·2	8·2	7·0	5·5	4·7
Nebenstrom	1·1	1·2	1·5	1·6	1·8	2·0	2·1
Hauptstrom	12·6	11·7	11·3	11·7	12·4	12·9	13·2

Nbatt. offen, Nbstr. 1·7, Hptstr. 15·9; Nbstr. 2. Ord. 0·6, Hptst. 15·8.

Endlich wurde noch der Drathring des Nebenstroms um Sp. III und eine andere Spirale von 16′ Länge vergrössert, dafür aber *P* entfernt; dies gab:

e)					
Zusatz im Nebendr.	2′	4′	8′	12′	16′
Nebenbatteriestrom	6·2	7·5	8·0	7·2	6·0
Hauptstrom	13·5	12·9	12·4	12·7	13·7

Betrachten wir die vollständige Reihe unter *d)*, so ist der Nebenbatteriestrom im Verhältniss zum Hauptstrom fast genau ebenso gross, als wenn nur ein Spiralenpaar angewandt worden wäre, wo also der Hauptstrom durch die eine, der Nebenbatteriestrom unmittelbar durch die andere Spirale gegangen wäre. Wie will man sich nun die vorliegende Induction erklären? Soll wirklich der Nebenstrom der inducirende Strom sein? Dagegen streitet zuerst, dass die Länge des Drathrings, durch welchen er geht, ohne Einfluss auf die Länge des Nebendraths ist, bei welcher das Maximum der inducirten Ladung eintritt. Dagegen streitet zweitens die Stärke des Nebenstroms; denn kann ein Hauptstrom von bestimmter Stärke nur einen Nebenbatteriestrom von bestimmter Stärke induciren, woher sollte der schwache Nebenstrom so viel mehr zu leisten vermögen, als ein gleich schwacher Hauptstrom unter denselben Verhältnissen leisten würde? Drittens streitet dagegen die Veränderlichkeit des Nebenstroms, die in den Reihen unter *c)* und *d)* am deutlichsten hervortritt. Der inducirende Hauptstrom richtet sich jedesmal nach dem Nebenbatteriestrom, er zeigt weniger Wärme, wenn im Nebendrath mehr ist, und umgekehrt; während also der Nebenbatteriestrom von der Stelle des Maximums nach beiden Seiten hin abnimmt, wächst die Wärme im Hauptstrom umgekehrt nach beiden Seiten zu. Allein der Nebenstrom bietet eine Reihe dar, welche genau den Reihen entspricht, wo ein Nebenbatteriestrom und ein Hauptstrom oder ihre Nebenströme durch denselben Drath hindurchgehen; nun erregt hier der Hauptstrom in dem mittleren Drathring einen Nebenstrom und ebenso der Nebenbatteriestrom in demselben Ringe einen entgegengesetzten Nebenstrom; aus der gemeinsamen Wirkung beider Ströme entsteht die

Reihe, die wir als Nebenstrom notirt haben. Durch dieses Verhalten stellt sich aber dieser Nebenstrom ganz als eine Nebensache heraus, und es wird unmöglich, an ihn die Entstehung des Nebenbatteriestroms anzuknüpfen. Aber woher kommt dann der Nebenbatteriestrom? Nach meinen Ansichten finde ich keine Schwierigkeit. Der Hauptstrom erregt in dem durch die beiden Spiralen geschlossenen Ringe das, was ich eine Kette oder Gliederung nenne; diese schreitet von dem ersten Spiralenpaar zum zweiten fort und ruft hier in der Spirale, welche einen Theil des Nebendraths bildet, eine ähnliche Gliederung hervor, diese schliesst sich in der Nebenbatterie, und so ist ein Nebenbatteriestrom da, der mit dem Hauptstrom correspondirt. Je kürzer man die Verbindung in dem überleitenden Drathringe macht, desto kräftiger trägt sich die Gliederung über, und desto weniger darf man sich wundern, wenn man einen Nebenbatteriestrom von ähnlicher Stärke erhält, als man ihn unter sonst gleichen Verhältnissen durch ein einziges Spiralenpaar erzeugen kann. Ich bin der Überzeugung, dass, wenn man 3 oder 4 Spiralenpaare hinter einander stellte und nur für kurze gute Verbindungen in den Ringen sorgte, man den Nebenbatteriestrom ziemlich ungeschwächt bis auf das dritte oder vierte Spiralenpaar übertragen könnte, während man den Nebenstrom zweiter, dritter u. s. w. Ordnung kaum noch wahrnehmen würde. — Mir standen keine andern Spiralenpaare zu Gebote, doch wollte ich diese meine Meinung, wenn auch auf eine unvollkommene Art als richtig erweisen. Ich nahm daher nach Fig. 4 Sp. II *AB* in den Hauptdrath mit 15', schloss Sp. I *CD* mittelst 4' durch die ersten gespannten 24' *EGKF*; dies gab den Nebenstrom erster Ordnung; weiter verband ich die zweiten (24') *OLQM* wieder mittelst 4' mit Sp. (1) *RS*; dies gab den Nebenstrom zweiter Ordnung; endlich schloss ich Sp. (2) *TU* durch 7' und das Thermometer mit der Nebenbatterie. Hier war nur die Übertragung von (24') zu (24'), die um 1 Zoll aus einander stehen, zu schwerfällig, indess erhielt ich doch:

Zusatz im Nebendr.	0'	2'	4'	5'	6'	8'	10'	16'
Nebenbatteriestrom	3·4	4·4	5·6	5·8	5·2	4·0	2·6	1·0

Wurde der Ring *TPNU* nach Auslösung der Nebenbatterie mit 5' metallisch geschlossen, so war der Nebenstrom dritter Ordnung = 0. Eine annähernde Berechnung gibt die Stärke dieses Nebenstroms zu etwa $^1/_{20}$ vom Hauptstrom, also die von ihm entwickelte

Wärme zu $1/_{400}$ von der Wärme im Hauptstrom an, die etwa = 0·05 Grad sich offenbar im Thermometer nicht bemerklich macht. Wir haben also, wenn wir den gewöhnlichen Ansichten folgen wollen, hier eine gerade nicht unbedeutende Ladung der Nebenbatterie durch einen Strom, der dem Thermometer nach Null ist. Gibt es freilich für Verschiedene verschiedene Grade des Unglaublichen, so gehört es wenigstens für mich, wie ich offen gestehe, zu den unglaublichen Dingen, dass ein Strom, den ich im Thermometer nicht mehr beobachten kann, einen andern erzeugen soll, den ich mit Leichtigkeit messe; ich vermag dies um so weniger zu glauben, wenn ich nebenbei wahrnehme, wie dieser neue Strom durch eine geringe Änderung des Draths, durch welchen er strömt, gesteigert oder verringert werden kann, zumal wenn ich bedenke, dass diese Änderung durch die Länge des Hauptdraths bedingt wird. Es mag immerhin auch Schwierigkeiten haben, auf und in Dräthen Gliederungen anzunehmen, die man nicht wahrnehmen kann, allein unglaublich ist wenigstens eine solche Gliederung nicht, denn sie kann jedenfalls möglich sein. Noch bemerke ich, dass das gewöhnliche Auskunftsmittel, durch Annahme einer kürzeren Zeit für die Ladung oder Entladung der Nebenbatterie die Wärmeproduction des Stromes nach Belieben zu steigern, hier nicht in Anwendung gebracht werden kann, da sich durch einige Beobachtungsreihen leicht nachweisen lässt, dass der von Spiralen- zu Spiralenpaar übertragene Strom genau denselben Verlauf hat, als derjenige, welcher durch ein einziges Paar oder durch zwei zu einander parallel gespannte Dräthe erzeugt wird.

11. Dieser Fall, wo ein im Thermometer nicht mehr erkennbarer Strom nach den gewöhnlichen Ansichten eine Batterie laden soll, führt mich auf einen andern ähnlichen Fall, der scheinbar auch für meine Annahmen bedenklich ist. Ich hatte die beiden Spiralenpaare ähnlich wie in Fig. 3 neben einander gestellt, und leitete den Hauptstrom mittelst 21′ hinter einander durch Sp. (2) und Sp. I; ebenso verband ich Sp. II und Sp. (1) hinter einander durch $7^1/_2$′ und durch das Thermometer, richtete aber diese Verbindung so ein, dass ich die Stromrichtung des entstehenden Nebenstroms in Sp. II auch umkehren konnte. Die beiden durch Sp. (2) und Sp. I erregten Nebenströme verliefen also das eine Mal gleichlaufend, das andere Mal conträr durch den geschlossenen Drathring. In denselben Ring (Nebendrath) schaltete ich abwechselnd auch die Nebenbatterie ein,

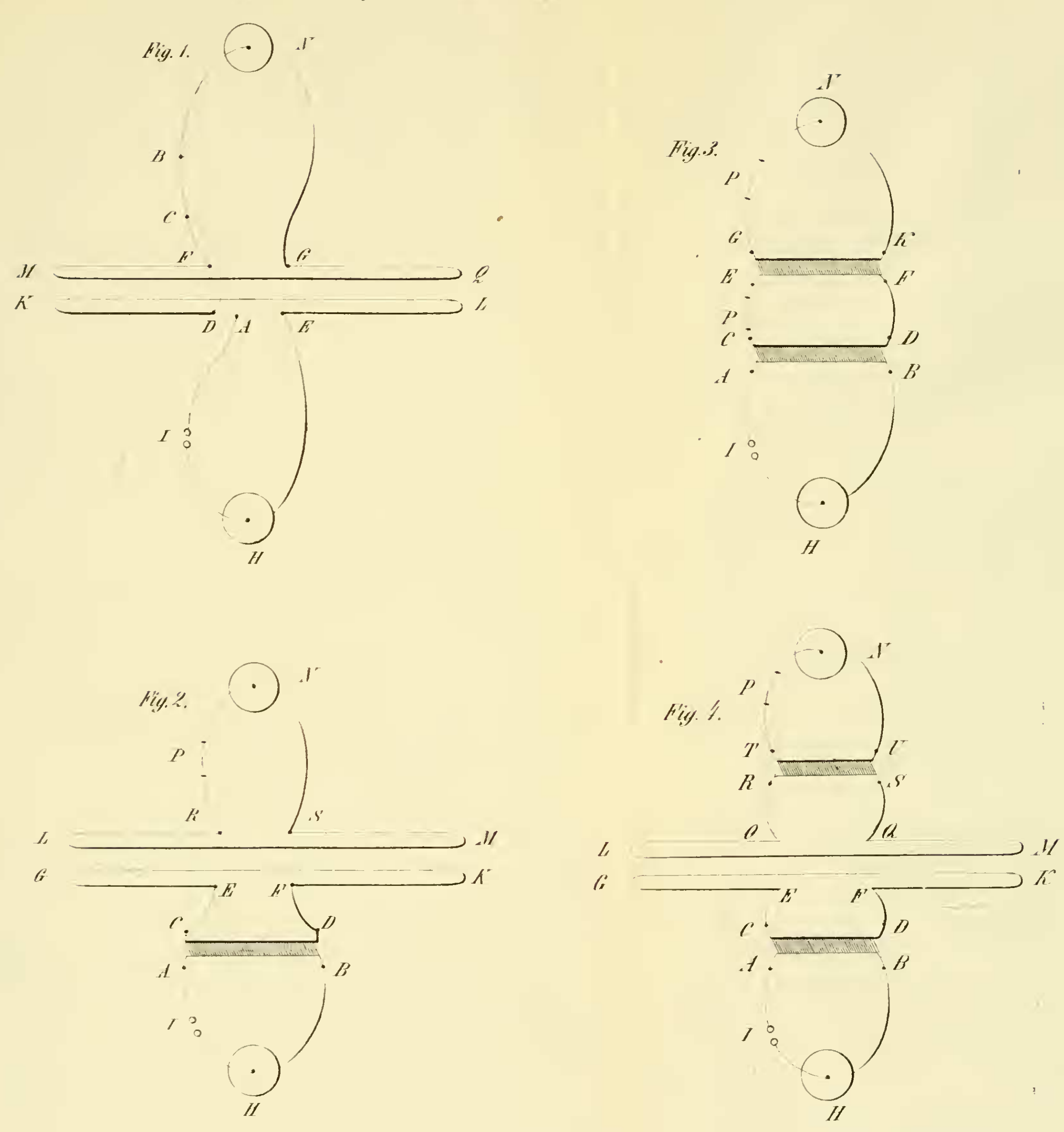
und beobachtete sowohl den Nebenbatteriestrom als den Nebenstrom. Dies gab:

Zusatz im Nbdr.	Nebenbatteriestrom		Nebenstrom	
	gleichl.	contr.	gleichl.	contr.
0′	14·0	3·2	8·5	0
8′	13·7	5·0	7·5	0
16′	13·6	6·2	6·5	0
24′	13·2	5·0	5·7	0
32′	12·7	3·4	5·2	0
40′	12·5	1·7	4·7	0

Hier haben wir wieder eine Ladung der Nebenbatterie, wo der Nebenstrom, der sie nach den gewöhnlichen Ansichten erzeugen soll, für das Thermometer Null ist. Da das Maximum der Nebenbatterieladung bei gleichl. gerade auf 0′ Zusatz fiel, so schaltete ich in den Hauptdrath noch 24′ ein; ich erhielt jetzt:

Zusatz im Nbdr.	Nebenbatteriestrom		Nebenstrom	
	gleichl.	contr.	gleichl.	contr.
0′	12·5	0·5	7·7	0
8′	12·6	1·0	7·0	0
16′	12·8	1·7	6·2	0
24′	13·0	2·7	5·5	0
32′	12·7	4·0	4·7	0
40′	12·5	4·5	4·2	0
48′	12·4	4·0	3·7	0

Die Maxima der Ladung haben sich, wie zu erwarten war, um 24′ verschoben. Die Beobachtungen wurden nicht geändert, wenn die Stromrichtung in Sp. (1) statt in Sp. II geändert wurde. — Hier sollte auch nach meiner Ansicht der Nebenbatteriestrom bei conträrer Verbindungsweise fortfallen, da zwei gleiche entgegengesetzte Ketten sich zerstören. Die Sache erklärte sich indess einfach, als ich in den Hauptdrath, der wieder wie in der ersten Reihe war, noch die gespannten 24′ und in den Nebendrath die andern (24′) + 4′ einschaltete. Die inducirten Ströme waren entweder in allen drei Theilen gleichlaufend, oder in Sp. (1), oder in Sp. II conträr. Ich beobachtete jetzt:



Aus d. k. k. Hof u. Staatsdruckerei